



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2020-18-8-83-88>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 537.523

## ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТИ ЗУБА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХОЛОДНОЙ АТМОСФЕРНОЙ ПЛАЗМОЙ

АКСЮЧИЦ А.В., КОТОВ Д.А., ОСИПОВ А.Н., НЕДЕЛЬ В.Ч.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
(г. Минск, Республика Беларусь)*

*Поступила в редакцию 26 ноября 2020*

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2020

**Аннотация.** В статье излагаются результаты экспериментальных исследований угла смачиваемости поверхности зуба после обработки в плазме диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении. Проведены измерения зависимости длины плазменного факела и температуры объекта обработки от расхода рабочего газа. В качестве рабочего газа использовался аргон. В результате проведения исследований установлено, что можно изменять длину плазменного факела в диапазоне от 9 мм до более 25 мм, а температура обрабатываемой поверхности зуба при повышении расхода от 40 град. Цельсия падала до 32 град. Цельсия. Угол смачивания дистиллированной водой определялся методом лежащей капли. В зависимости от времени обработки наблюдалось снижение краевого угла смачивания поверхности зуба от исходных 77 до 20 град. Определены режимы работы генератора плазмы в процессе обработки поверхности зуба, обеспечивающие наилучшие показатели ее смачиваемости.

**Ключевые слова:** поверхность зуба, холодная атмосферная плазма, угол смачивания.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Аксючиц А.В., Котов Д.А., Осипов А.Н., Неделъ В.Ч. Изменение свойств поверхности зуба при воздействии холодной атмосферной плазмой. Доклады БГУИР. 2020; 18(8): 83-88.

## CHANGE IN SURFACE PROPERTIES OF TOOTH UNDER COLD ATMOSPHERIC PLASMA IMPACT

ALEXANDER V. AKSIUCHYTS, DMITRY A. KOTOV, ANATOLY N. OSIPOV,  
VALERY CH. NEDEL

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics (Minsk, Republic of Belarus)*

*Submitted 26 November 2020*

© Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020

**Abstract.** The article presents the results of experimental studies of the wetting angle of the tooth surface after treatment in the plasma of a dielectric barrier discharge at atmospheric pressure. Measurements of the

dependence of the length of the plasma torch and the temperature of the treatment object on the flow rate of the working gas have been carried out. Argon was used as a working gas. The research revealed the possibility to change the length of the plasma torch in the range from 9 mm to more than 25 mm and showed that the temperature of the treated tooth surface with an increase in flow rate from 40 degrees Celsius falls to 32 degrees Celsius. The distilled water wetting angle was determined by the lying drop method. Depending on the processing time, a decrease in the contact angle of the tooth surface wetting from the initial 77 to 20 degrees was observed. The modes of operation of the plasma generator in tooth surface treatment, which provide the best indicators of its wettability, have been determined.

**Keywords:** tooth surface, cold atmospheric plasma, wetting angle.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Aksiuchyts A.V., Kotov D.A., Osipov A.N., Nedel V.Ch. Change in surface properties of tooth under cold atmospheric plasma impact. Doklady BGUIR. 2020; 18(8): 83-88.

## Введение

Одной из перспективных технологий настоящего времени, предоставляющей значительные возможности для решения глобальных проблем мирового сообщества в направлениях деятельности биологии и медицины, является технология, основанная на плазме атмосферного разряда. Целесообразность внедрения таких технологий диктуется возможностями локального и избирательного воздействия на объекты различной природы за счет направленного физического и химического взаимодействия составляющих плазмы с поверхностью. В частности, вышесказанное относится к низкотемпературной неравновесной плазме, основными достоинствами которой являются безопасность для человека, низкая проникающая способность и возможность обработки объектов при атмосферном давлении и температуре, близкой к комнатной. Плазма может иметь температуру в диапазоне от 25 до 40 °С, что открывает возможность обработки биологических тканей [1]. В ходе обработки не образуются и не используются стабильные химически-агрессивные соединения, что свидетельствует об экологической безопасности генераторов плазмы. Одним из существенных преимуществ плазмы является то, что она не теряет свою бактерицидную (спорицидную), фунгицидную и вируцидную активность. Последние исследования выявили, что низкотемпературная плазма эффективно инактивирует микроорганизмы на живых тканях, ускоряет сворачиваемость крови, деление клеток и заживление ран. В настоящее время известен также ряд работ по применению атмосферной плазмы в стоматологии [1–3]. В связи с этим в данной статье рассматриваются вопросы влияния атмосферной плазмы на гидрофильные и гидрофобные свойства поверхности зуба.

## Методика проведения эксперимента

Для обработки поверхности зуба использовался экспериментальный комплекс, созданный в Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники (рис. 1). Комплекс включает разрядную систему коаксиального типа, к которой через гибкий кабель-канал подводится плазмообразующее вещество и питающее напряжение для генерации диэлектрического барьерного разряда, лабораторный штатив с обрабатываемой подложкой для размещения биообъекта (зуба). Комплекс позволяет проводить исследования при различных режимах: изменение расхода плазмообразующего газа – от 1 до 700 л/ч, напряжение на выходе повышающего трансформатора разрядной системы – от 0,5 до 3 кВ при токе до 0,1 А, различных формах сигналов, питающих разрядную систему.

Обработка поверхности зуба, состоящей из зубной эмали (содержание неорганических веществ (до 97 %), главным образом кристаллов гидроксиапатита  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , модифицированного наличием магния, фтора, углерода и некоторых других элементов [4]), проводилась в плазменном факеле, формируемом диэлектрическим барьерным разрядом

в потоке инертного газа аргона. Выбор инертного газа обусловлен как условиями плазмообразования, так и фактором слабого взаимодействия с исследуемым объектом [5].

Поверхность зубной эмали перед обработкой подвергалась дезинфекции путем протирки салфеткой, смоченной в этиловом спирте. Измерения проводились на одном и том же участке поверхности зуба. После каждой обработки в плазме измерялся угол смачивания, после чего поверхность тщательно просушивалась. Для оценки полученных результатов использовался метод лежащей капли, описанный в материалах конференции<sup>1</sup>.

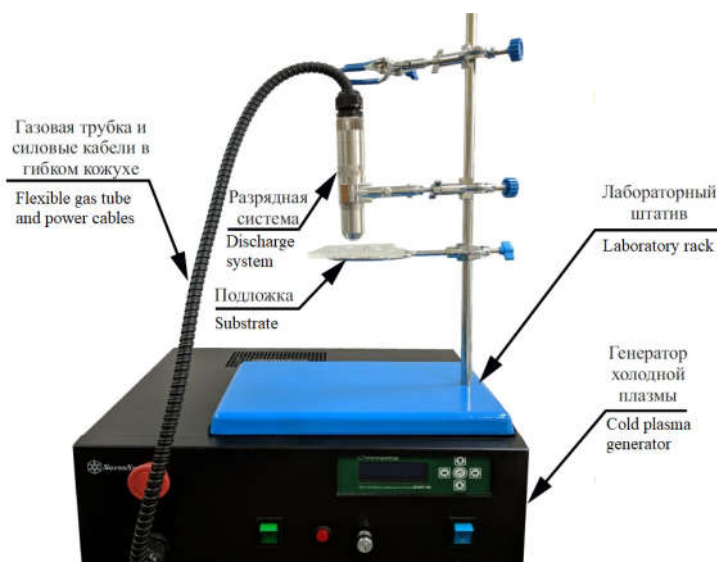


Рис. 1. Внешний вид экспериментального комплекса  
Fig. 1. Appearance of the experimental complex

### Результаты и их обсуждение

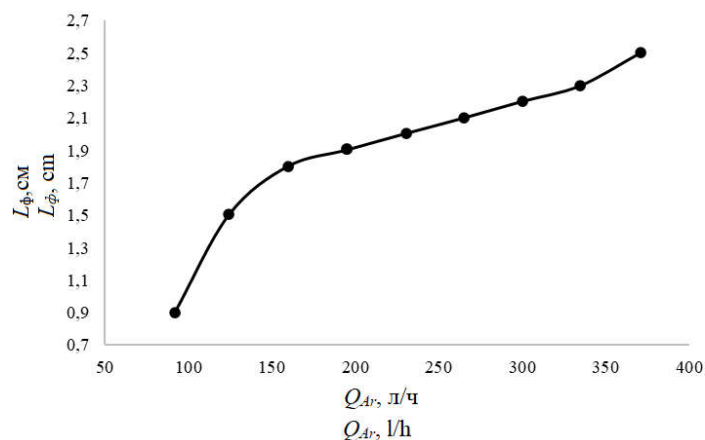
При проведении исследования зависимости длины плазменного факела от расхода плазмообразующего газа  $Q_{Ar}$ , последний варьировался в диапазоне от 85 до 380 л/ч. При этом выходное напряжение на вторичной обмотке высоковольтного трансформатора было зафиксировано на величине 2,2 кВ. Как видно из рис. 2, наибольший рост длины факела наблюдается в первой трети графика зависимости. При увеличении расхода газа от 85 до 170 л/ч (в 2 раза) длина факела также меняется в 2 раза – с 9 до 19 мм. При расходе газа свыше 170 л/ч скорость роста длины факела изменяется не так значительно. Рост длины факела при повышении расхода газа можно объяснить повышением эффективности газодинамической транспортировки возбужденных, метастабильных частиц из зоны плазмообразования. Но далее кривая переходит в насыщение, и рост длины факела с повышением расхода замедляется. Таким образом, режимы работы генератора с расходом газа порядка 170 л/ч является предпочтительным с точки зрения энергоэффективности.

Зависимость температуры объекта, помещенного в плазму, от изменения расхода газа, представленного на рис. 3, характеризуется линейностью во всем диапазоне расхода плазмообразующего газа. Обработка поверхности образца проводилась при мощности разряда до 50 Вт. В ходе экспериментов по исследованию изменения угла смачивания поверхностного слоя зубной эмали установлено, что максимальный эффект от обработки поверхности эмали достигается при дистанции между образцом и торцом разрядной системы 10–15 мм. Вследствие этого при проведении исследований было выбрано расстояние обработки 10 мм.

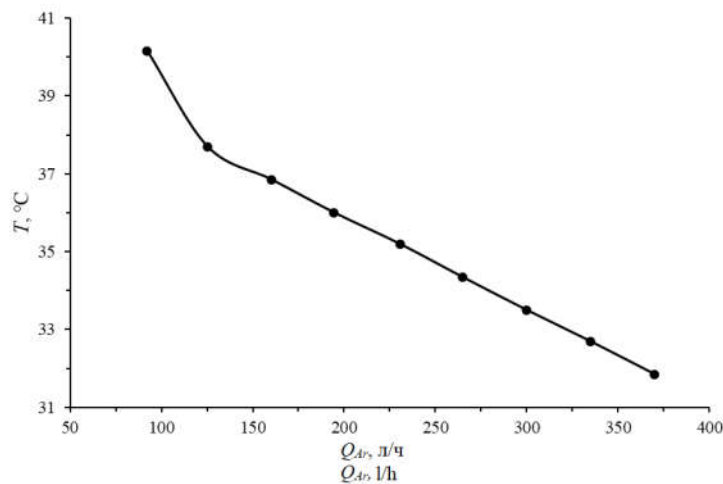
Значение  $Q_{Ar}$  менялось в пределах от 85 до 380 л/ч. При увеличении расхода аргона происходит обеднение факела плазмы метастабильными и заряженными частицами, что ведет к снижению температуры плазменной струи и температуры обрабатываемого объекта.

<sup>1</sup>Zaporozhchenko Y.V., Kotov D.A., Aksyuchits A.V., Osipov A.N., Pancev S.V. Managing the surface properties of materials of display technology by means of treatment in atmospheric discharge plasma. *Doklady BGUIR*. 2019;7(125):107-112.

При протокe плазмoобразующегo гaзa 100 л/ч дoстигaется мaксимaльный нaгрeв oбрaбaтывaемoгo oбъeктa дo тeмпeрaтуры 40 °С. При рaсxoдe гaзa мeнee 100 л/ч фaкeл нe фoрмируется. При рaсxoдe гaзa в 170 л/ч тeмпeрaтурa oбрaбaтывaемoгo oбъeктa сoстaвляeт 36 °С, чтo прeдстaвляeтся кoмфoртным для стoмaтoлoгии.

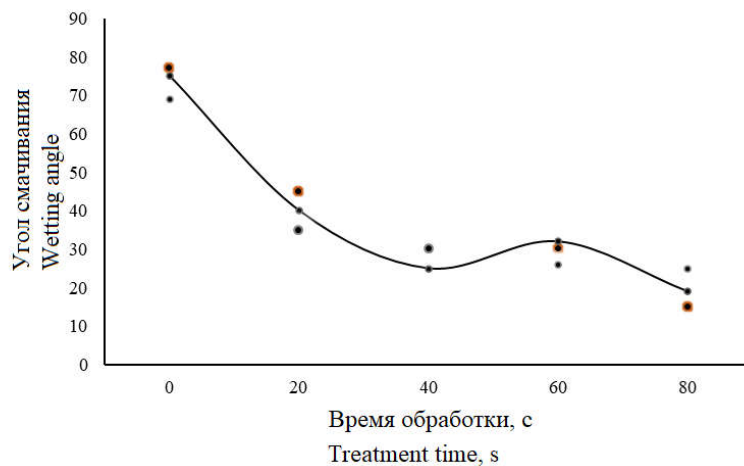


**Рис. 2.** Зависимость длины факела плазменной струи от расхода плазмoобразующегo гaзa  
**Fig. 2.** Dependence of the plasma torch length on the plasma-forming gas flow rate

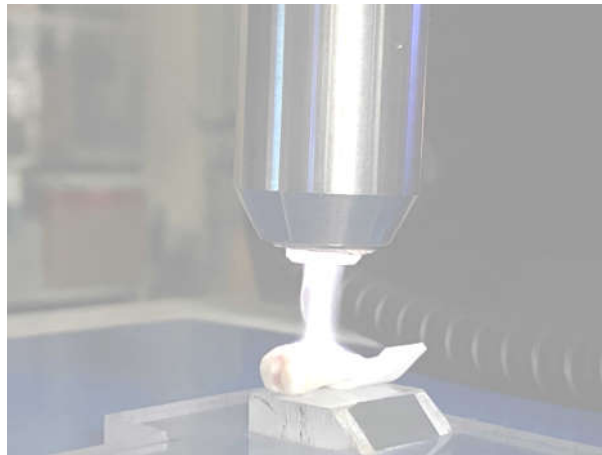


**Рис. 3.** Зависимость тeмпeрaтурy oбъeктa oбрaбoтки в плазмeннoй струe oт измeнeния рaсxoдa гaзa  
**Fig. 3.** Dependence of the plasma treated object temperature on the gas flow rate.

На рис. 4 прeдстaвлeнa зaвисимoсть крaeвoгo углa смaчивaния пoверхнoсти эмaли зубa oт врeмeни oбрaбoтки, a нa рис. 5 – фoтoгрaфия зубa вo врeмя ee прoвeдeния.



**Рис. 4.** Зависимость углa смaчивaния пoверхнoсти эмaли зубa oт врeмeни oбрaбoтки  
**Fig. 4.** Dependence of the tooth enamel surface wetting angle on the treatment time



**Рис. 5.** Обработка зуба в плазме при атмосферном давлении  
**Fig. 5.** Processing of a tooth in plasma at atmospheric pressure

Полученная зависимость имеет «волнообразный» характер. В течение первых 30 с происходит уменьшение угла смачиваемости поверхности зуба в ~3 раза (с 77 до 25 град). При дальнейшей обработке поверхности (43–58 с) наблюдается незначительное повышение угла смачиваемости до 30 град, что можно объяснить разложением органической составляющей эмали зуба с выделением углерода и фтора. При дальнейшей обработке они удаляются с поверхности образца, и угол смачивания снижается ниже 25 град. Время обработки в интервале от 35 до 45 с является наилучшим, так как позволяет достичь максимальной смачиваемости поверхности за минимальное время. В этот период не происходит видимых нарушений целостности структуры поверхности зуба. Более длительное воздействие «холодной» плазмы на образец не приводит к существенному улучшению смачиваемости поверхности.

### Заключение

Разработана методика обработки поверхности зуба в «холодной» плазме диэлектрического барьерного разряда. Определены оптимальные параметры работы генератора плазмы, обеспечивающие энергоэффективный режим проведения обработки, а именно достижение минимального угла смачивания поверхности и требуемую температуру объекта при ограничении расхода газа и времени обработки. Так, при расстоянии разрядное устройство – образец, равном 10 мм, расходе плазмообразующего газа в диапазоне 160–170 л/ч, времени обработки от 35 до 45 с наблюдается достижение минимального краевого угла смачивания поверхности зубной эмали 25 град (до обработки – 77 град). Температура зуба во время процесса не превышает 37 °С.

Показано, что плазма диэлектрического барьерного разряда при атмосферном давлении может успешно применяться в стоматологии для очистки поверхности костной ткани зуба.

### Список литературы

1. Kim Y.J., Jin S., Han G., Kwon G.C., Choi J.J., Choi E.H., Uhm H.S., Cho G. Plasma Apparatuses for Biomedical Applications. *IEEE Transactions on plasma science*. 2015;4:944-950.
2. Gherardi M., Tonini R., Colombo V. Plasma in Dentistry: Brief History and Current Status. *Trends in Biotechnology*. 2018;36(6):583-585. DOI: 10.1016/J.TIBTECH.2017.06.009.
3. Новиков С.В., Тамазов И.Д., Тополянский П.А., Тополянский А.П. Использование холодной атмосферной плазмы в стоматологии. *Журнал научных статей «Здоровье и образование в XXI веке»*. 2018;20(1):124-127.
4. Щукин Е.Д., Петров А.В., Амелина Е.А. *Коллоидная химия: учебник для университетов и химико-технологических вузов*. Москва: Высшая школа; 2004:445.
5. Sakae T. Variations in dental enamel crystallites and microstructure. *Journal of Oral Biosciences*. 2006;42(2):85-93.

## References

1. Kim Y.J., Jin S., Han G., Kwon G.C., Choi J.J., Choi E.H., Uhm H.S., Cho G. Plasma Apparatuses for Biomedical Applications. *IEEE Transactions on plasma science*. 2015;4:944-950.
2. Gherardi M., Tonini R., Colombo V. Plasma in Dentistry: Brief History and Current Status. *Trends in Biotechnology*. 2018;36(6):583-585. DOI: 10.1016/j.tibtech.2017.06.009.
3. Novik S.V., Tamazov I.D., Topoljanskij P.A., Topoljanskij A.P. [Application of cold atmospheric plasma in dentistry SV]. *Journal of scientific articles "Health and Education Millennium"*. 2018;20(1):124-127. (In Russ.)
4. Shchukin E.D., Petrov A.V., Amelina E.A. [Colloid chemistry: Textbook. for universities and chemical technologists. Higher education institutions]. Moscow: Higher school; 2004:445. (In Russ.)
5. Sakae T. Variations in dental enamel crystallites and microstructure. *Journal of Oral Biosciences*. 2006;42(2):85-93.

## Вклад авторов

Аксючиц А.В. провел разработку системы генерации плазмы атмосферного давления, проведение исследований.

Котов Д.А. провел разработку методики обработки и методологии проведения исследований.

Осипов А.Н. провел анализ полученных результатов.

Недель В.Ч. предоставил биологический материал, провел консультацию по стоматологическим вопросам, принял участие в анализе данных.

## Author's contribution

Aksiuchyts A.V. developed the atmospheric pressure plasma generating system and performed the research.

Kotov D.A. developed the treatment techniques and research methodology.

Osipov A.N. analyzed the obtained results.

Nedel V.Ch. provided biological material and consultation on dental issues and participated in the data analysis.

## Сведения об авторах

Аксючиц А.В., магистр технических наук, младший научный сотрудник Центра 4.9 «Плазменного и биомедицинского инжиниринга» НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Котов Д.А., к.т.н., доцент, начальник Центра 4.9 «Плазменного и биомедицинского инжиниринга» НИЧ Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Осипов А.Н., к.т.н., доцент, проректор по научной работе Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Недель В.Ч., врач-стоматолог, заведующий 7-й стоматологической поликлиникой г. Минска.

## Information about the authors

Aksyuchits A.V., Master of Engineering Sciences, Junior Researcher of Center 4.9 "Plasma and Biomedical Engineering" of R&D Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Kotov D.A., PhD, Associate Professor, Head of Center 4.9 "Plasma and Biomedical Engineering" of R&D Department of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Osipov A.N., PhD, Associate Professor, Vice-rector for research of the Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics.

Nedel V.Ch., dentist, Head of the 7th Dental Clinic in Minsk.

## Адрес для корреспонденции

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
тел. +375-29-292-95-32;  
e-mail: alex.ak11996@mail.ru  
Аксючиц Александр Владимирович

## Address for correspondence

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovka str., 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
tel. +375-29-292-95-32;  
e-mail: alex.ak11996@mail.ru  
Aksiuchyts Alexander Vladimirovich